Вестник Донского государственного технического университета. ISSN 1992-5980 eISSN 1992-6006. 2018. Т. 18, № 2. С. 163–170
Vestnik of Don State Technical University. ISSN 1992-5980 eISSN 1992-6006 2018. Vol. 18, no. 2, pp. 163–170

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ
MACHINE BUILDING AND MACHINE SCIENCE



УДК 622.23.051 DOI 10.23947/1992-5980-2018-18-2-163-170

Обоснование выбора упругого элемента для адаптивного режущего долота*

В. С. Исаков[1], Нгуен Зуй Тхань [2]**
[1,2]Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М. И. Платова, г. Новочеркасск, Российская Федерация

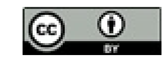
Rationale for choosing elastic element for adaptive cutting bit ***

V. S. Isakov[1], Nguyen Duy Thanh[2]**
[1,2]Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk, Russian Federation

Введение. Проблемам адаптивного бурения посвящено множество работ. Большой интерес представляет не только регулирование режимных параметров органов буровых станков в зависимости от физико-механических свойств породы в забое, но и использование адаптации режущего долота с полным или частичным изменением его структуры за счет введения упругих элементов. Целью настоящей работы является обоснование выбора упругого элемента для адаптивного режущего долота, а также определение его параметров.
Материалы и методы. Авторами проведены экспериментальные исследования на режущем адаптивном долоте диаметром 160 мм с различными параметрами резиновых образцов. В качестве объекта исследований были использованы резиновые образцы, имеющие следующие варьируемые показатели: твердость резины (по Шору) — от 40 до 75 ед.; высота образца — от 25 до 60 мм; рабочий диапазон усилий сжатия — от 5 кН до 30 кН; формы образцов — параллелепипед сплошной, параллелепипед с боковыми проточками, параллелепипед с внутренними отверстиями, параллелепипед слоистый с толщиной слоя от 6 до 15 мм. На основании результатов проведенных экспериментов выполнено сравнение и обоснование выбора наиболее приемлемого типа и параметров упругого элемента.
*Результаты исследования***.** Представлены результаты экспериментальных исследований упругих элементов адаптивных буровых режущих долот. В результате сравнения наиболее распространенных форм амортизаторов установлено, что многослойный элемент наилучшим образом выполняет роль адаптирующей связи.
Обсуждение и заключения. В результате исследований установлено, что в адаптивных буровых инструментах в качестве упругого элемента при малых диаметрах долот целесообразно применение резиновых эластомеров. Сформулированы рекомендации по твердости резины,

Introduction. Problems of the adaptive drilling are currently discussed in a number of works. They are largely devoted to the regulation of standard parameters of the borer tools (depending upon the rock physical and mechanical properties at the mine face), and to implementing drill bit adaptation with complete or partial rearrangement of its structure accomplished through introduction of elastic elements. The paper objective is rationale for choosing an elastic element for an adaptive cutting bit, and its parametrization.
Materials and Methods. Experimental research was carried out using a real adaptive cutting bit (dia. 160 mm) with rubber samples having various parameters. For testing, rubber samples with the following varied properties were selected: rubber hardness (Shore scale) - 40 to 75 ea; sample height - 25 to 60 mm; operating range of pressure load - 5 to 30 kN; sample shapes - solid parallelepiped, parallelepiped with lateral grooves, perforated parallelepiped, layered parallelepiped with layers ranging from 6 to 15 mm. Based on the experimental results, a comparison was carried out with validation of the most suitable elastic element type and its parameters.
Research Results. Findings of the experimental study on elastic elements for adaptive cutting bits are presented. Following the comparison of the most common shapes of shock dampers, it is established that a multi-layered element serves best as an adapting joint.
Discussion and Conclusions. Using rubber-based elastomers as elastic elements in adaptive cutting bits appears to be feasible for low diameter cutters. Recommendations are provided regarding rubber hardness, layer thickness, and total

* Работа выполнена в рамках инициативной НИР.
**E-mail:kafedra_sdkm@mail.ru, nguyenduythanh2211@gmail.com
***The research is done within the frame of the independent R&D.



толщине слоев, общей высоте упругого элемента для заданных значений хода подвижной лопасти адаптивного долота.

height of the elastic element for the specified stroke length values of the adaptive drilling bit blade.

Ключевые слова: бурение, перемежающиеся по крепости породы, упругий элемент, режущие долота, адаптивные структуры

Keywords: drilling, rocks interstratified in hardness, elastic element, cutting bits, adaptive structures.

Образец для цитирования: Исаков, В. С. Обоснование выбора упругого элемента для адаптивного режущего долота / В. С. Исаков, З. Т. Нгуен // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. — 2018. — Т. 18, № 2. — С.163–170. DOI 10.23947/1992-5980-2018-18-2-163-170

For citation: V. S. Isakov, Nguyen Duy Thanh. Rationale for choosing elastic element for adaptive cutting bit. Vestnik of DSTU, 2018, vol. 2, no.2, pp. 163–170. DOI 10.23947/1992-5980-2018-18-2-163-170

Введение. Эффективная работа буровых установок в сложных горно-геологических условиях во многом зависит от правильного выбора бурового инструмента. Однако, если рассматривать вопрос об эффективности бурения с системных позиций, то вариативность условий работы обуславливает оптимизацию характеристик привода машины и ее конструктивных параметров, системы удаления буровой мелочи, бурового инструмента.

В общем случае задача может быть решена за счет создания универсального, сменного или адаптирующегося оборудования. Универсальное оборудование предполагает удовлетворительную работу на породах различной крепости. При этом максимально возможная производительность может достигаться только на породах с определенными характеристиками. В остальных случаях эффективность бурения существенно снижается. Сменное оборудование и регулируемые характеристики буровой машины позволяют достичь максимальной производительности на породах с определенным диапазоном крепости и с различными физико-механическими характеристиками. Однако время, необходимое для поднятия и замены оборудования увеличивает общую продолжительность цикла и, как следствие, снижает производительность станка.

Адаптация предполагает автоматическое приспосабливание оборудования к изменяющимся горно-геологическим условиям и оптимизацию процесса бурения по адаптируемым параметрам. Адаптивное регулирование скорости вращения, подачи, характеристик бурового инструмента, изменение его структуры или его автоматическая замена позволяют достичь максимальной производительности при любых изменениях горно-геологических условий.

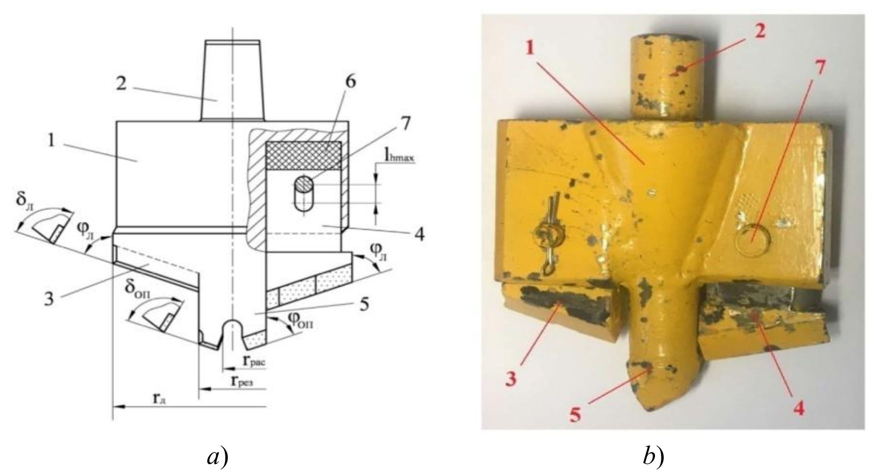
Проблемам адаптивного бурения посвящен ряд работ [1–3]. Как правило, исследования в данной области направлены на регулирование режимных параметров в зависимости от физико-механических свойств породы в забое, на установление взаимосвязи «между усилием подачи и резания, когда энергия, подводимая к резцу, самораспределяется между этими составляющими» [4]. Некоторые работы посвящены адаптации инструмента с полным или частичным [5, 6] изменением его структуры или отдельных элементов.

Возможности конструктивной реализации полного замещения инструмента (комбинированные долота) ограничены диаметром долот и способом удаления буровой мелочи. В этой связи для долот малых диаметров более перспективным представляется частичное изменение структуры и конструктивных параметров инструмента за счет введения упругих элементов [5, 7]. Учитывая условия работы инструмента, преимущественное применение получили упругие элементы, выполненные из резины.

Экспериментальное исследование и анализ его результатов. Современные резины и эластомеры способны сохранять свои свойства в широком диапазоне температур — от –60 до +250 °С, обладают абразиво- и износостойкостью, стойкостью к динамическим нагрузкам, агрессивным средам, способностью поглощать вибрацию и т. д. Данная совокупность свойств позволяет не только использовать их в качестве амортизаторов [8], улучшающих работу буровой установки, но и в качестве адаптирующих элементов, изменяющих структуру и параметры инструмента в зависимости от условий среды.

Конструкции, предложенные в [9, 10], предполагают сжатие упругого элемента в ограниченном пространстве и необходимость обеспечить заданную функцию перемещения режущего элемента в зависимости от сопротивления разрушаемой породы.

Экспериментальные исследования были проведены на реальном режущем адаптивном долоте с диаметром 160 мм (АД–160), где одна из лопастей выполнена подвижной, что проиллюстрировано с помощью конструктивной схемы на рис. 1, *a* и фотографии — рис. 1, *b*.



a) *b*)

Рис. 1. Адаптивное долото АД–160
a) конструктивная схема АД–160; *b*) фотография АД–160; 1 — корпус АД; 2 — хвостовик; 3 — неподвижная лопасть; 4 — подвижная лопасть; 5 — опережающий забурник; 6 — упругий элемент; 7 — стопорный болт

Fig. 1. Adaptive bit AD-160, a) construction scheme of AD-160; b) photo of AD-160
1 – adaptive bit body; 2 – shank; 3 – fixed blade; 4 –movable blade; 5 – starting borer; 6 – elastic element; 7 – retaining bolt

Для сравнения сжатие образца проводилось также в сводном состоянии. Варьируемые показатели: твердость резины (по Шору) — от 40 до 75 ед.; высота образца — от 25 до 60 мм; рабочий диапазон усилий сжатия — от 5 кН до 30 кН; формы образцов — параллелепипед сплошной, параллелепипед с боковыми проточками, параллелепипед с внутренними отверстиями, параллелепипед слоистый с толщиной слоя от 6 до 15 мм. Геометрические размеры образцов были ограничены прочностными параметрами корпуса долота, т. е. обусловлены конструктивными соображениями. Диапазон варьирования усилия сжатия соответствовал диапазону усилий подачи бурового инструмента при крепости породы до шести по шкале проф. М. М. Протодьяконова. Формы образцов соответствовали наиболее распространенным амортизаторам, рекомендуемым в литературе [8, 11]. При этом соблюдались ограничения: подвижный режущий элемент при максимальной нагрузке погрузился в корпус долота до специального упора. Общий вид экспериментальной установки представлен на рис. 2.



Рис. 2. Общий вид экспериментальной установки: 1 — механический пресс; 2 — динамометр; 3 — индикатор перемещения; 4 — опытный образец долота АД–160; 5 — специальный индентор

Fig. 2. General configuration of pilot plant 1 – mechanical press; 2 – dynamometer; 3 – travel dial indicator; 4 – prototype model of bit AD-160; 5 – custom indenter

Установка позволяет измерять варьируемые параметры в вышеназванных диапазонах с точностью: для осадки образца ±0,1 мм; для усилия сжатия ±10 Н. Твердость образцов по Шору определялась твердомером ТМ–2.

На рис. 3 представлены зависимости осадки образцов от усилия сжатия при свободном деформировании и сжатии в обойме долота. При деформации резиновый образец упирается в стенки обоймы, заполняет все свободное пространство и сопротивление сжатию резко увеличивается. При увеличении высоты образца объем «свободного» пространства заполняется при относительно меньших нагрузках и экспоненциальное возрастание сопротивлению происходит при большей осадке. Так, например, в образцах параллелепипеда сплошного размера основания 40х18 мм с высотой 45 и 25 мм возрастание сопротивления образов происходит от 10 мм и 4 мм соответственно. При этом деформации сжатия составляет 33,8 % и 38,8 % соответственно. На рис. 4 представлено изменение относительной деформации в зависимости от усилия сжатия.

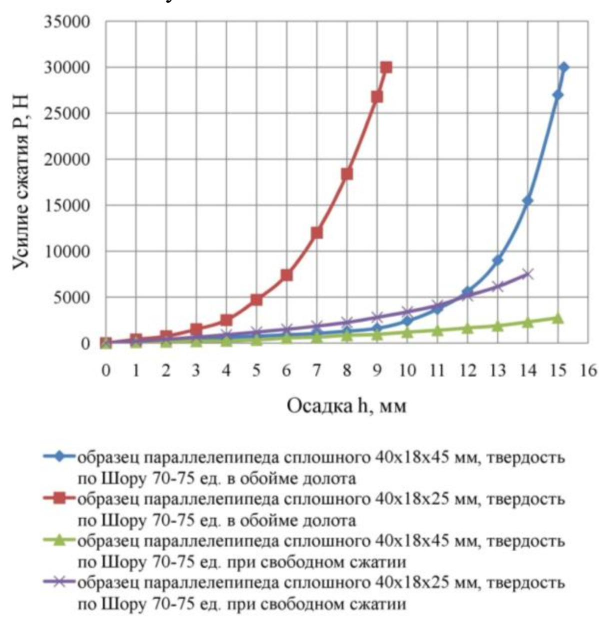


Рис. 3. Зависимость осадки от усилия сжатия

Fig. 3. Dependence of subsidence on forward pressure

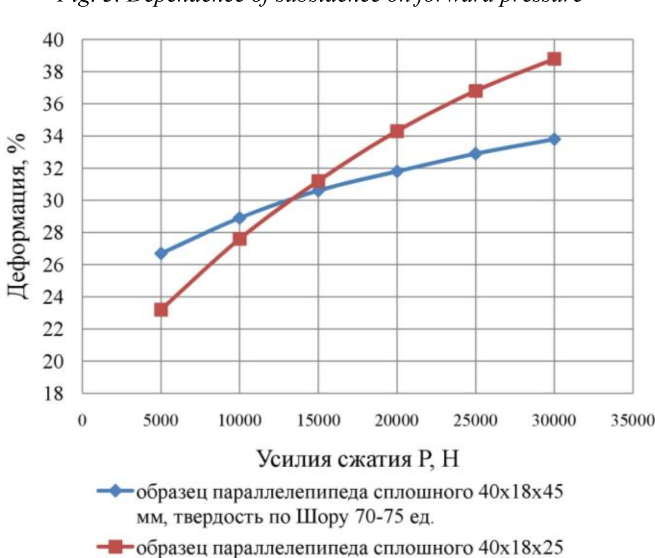


Рис. 4. Изменение относительной деформации от усилия сжатия

Fig. 4. Change in rate of strain on forward pressure

Таким образом, в диапазоне нагрузок от 5 кН до 30 кН величина перемещений подвижной лопасти будет снижаться. В случае мягких резин (40–45 ед. по Шору) заполнение свободного пространства происходит при

меньших нагрузках по сравнению с резинами твердостью 70–75 ед. по Шору (рис. 5). Как видно из графиков, возможное перемещение подвижного лезвия при твердости 40–45 ед. по Шору составило 2,2 мм, при твердости 70–75 ед. — 4,1 мм, при твердости 60–65 ед. — 3,9 мм, что позволяет отдать предпочтение резинам с твердостью 60–65 ед. и 70–75 ед. по Шору.

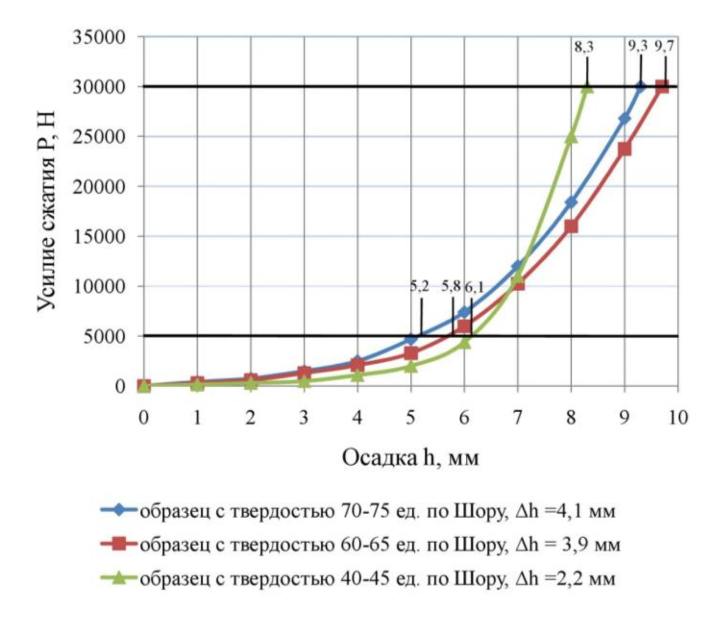


Рис. 5. Зависимость деформации образцов сплошного параллелепипеда
с размерами 40х18х25 мм от твердости резины

Fig. 5. Dependence of deformation of solid parallelepiped patterns of 40x18x25 mm on hardness

Как показали испытания резиновых вставок с боковыми проточками, осадка увеличивается в зоне до 5,0 кН. Увеличивается осадка при нагрузке 30 кН, однако возможное перемещение подвижного лезвия уменьшается. Сводные данные по испытаниям приведены в таблице 1.

Таблица 1
Table 1

Результаты испытаний осадки резины

Test results of rubber upsetting

Вид образца резины	Начальная высота образца h_0, мм	Осадка образца резины h, мм при усилии сжатия $P, кН$		Разность осадки резины Δh, мм
		$P = 5\ кН$	$P = 30\ кН$	
С боковыми проточками	45	14,3	17,2	2,9
	40	11,5	14,2	2,7
С цилиндр. отверстиями	40	11,2	13,2	2,0
	30	8,0	11,3	3,3
Сплошные образцы	45	11,7	15,2	3,5
	40	9,7	13,6	3,9
	30	6,8	10,6	3,8

Аналогичные результаты экспериментов получены на образцах с круглыми цилиндрическими отверстиями: Δh снижается до 2,0 мм (для образцов с боковыми проточками — 2,7 мм и сплошным образцом —

3,9 мм). Таким образом, для данного случая эксперименты показывают нецелесообразность использования амортизаторов с проточками и внутренними отверстиями.

Многослойные образцы с металлическими прослойками показали наилучшие результаты. Толщина каждого пласта для экспериментов была выбрана 6, 8, 10 мм, количество слоев — 3, 4, 5, 6.

На рис. 6 представлены результаты испытаний образцов с количеством слоев и толщиной пласта: 3х10 мм; 4х10 мм; 5х10 мм. Дальнейшее увеличение нецелесообразно по геометрическим параметрам долота. Образцы с более тонкими слоями резины показали меньшую величину разности осадки. Для сравнения на рис. 6 представлены результаты испытания образцов 6х6 мм; 5х8 мм, показавшие максимальную разность осадки.

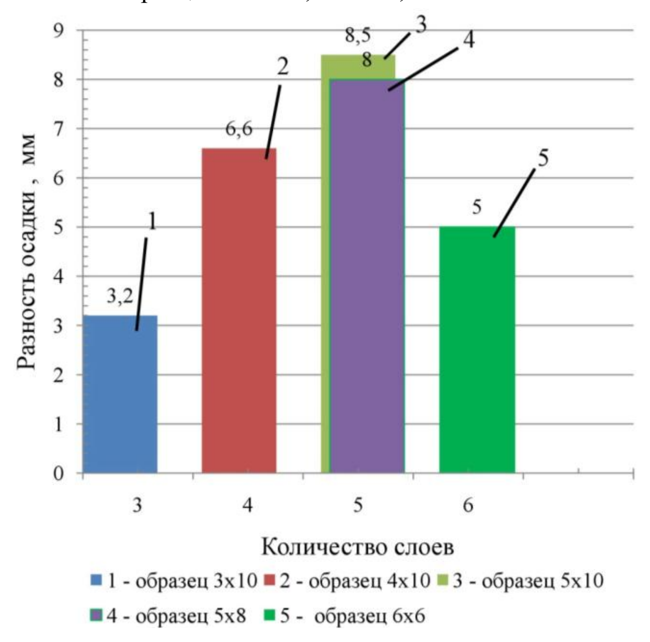


Рис. 6. Результаты испытаний многослойных образцов с металлическими прослойками

Fig.6. Test results of multi-layered samples with metal inserts

Выводы. В адаптивных буровых инструментах в качестве упругого элемента при малых диаметрах долот целесообразно применение резиновых эластомеров, обладающих высокой эластичностью, абразиво- и износостойкостью, стойкостью к динамическими нагрузкам, агрессивным средам и пыли, достаточным температурным интервалом при сохранении эластичных свойств. Проведенные авторами экспериментальные исследования показали, что для данных условий работы наиболее приемлемы резины с твердостью 60–65 ед. и 70–75 ед. по Шору. Применение наиболее распространенных форм, применяемых в амортизаторах (с боковыми проточками, с внутренними отверстиями) повышает величину осадки образцов в диапазоне нагрузки от 0 до 5 кН и не приводит к существенному изменению осадки в диапазоне нагрузки 5 до 30 кН, по сравнению со сплошными образцами. Наиболее перспективными являются упругие элементы, выполненные в виде многослойной конструкции с толщиной слоя 8–10 мм и прослойками из металла толщиной 0,5–1,0 мм. Они обеспечивают достаточную по величине осадку резинового элемента в диапазоне нагрузок от 5 кН до 30 кН, что может обеспечить заданной ход подвижной лопасти адаптивного долота.

Библиографический список

1. Дровников, А. Н. Структурная схема динамической модели «адаптивный буровой станок — забой» / А. Н. Дровников, М. А. Лемешко // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2003. — № 8. — С. 147–149.

2. Шигин, А. О. Проектирование адаптивных рабочих органов буровых станков для сложноструктурных горных массивов / А. О. Шигин. — Красноярск : изд-во СФУ, 2013. — 155 с.

3. Пономарев, А. Я. Адаптивные буровые агрегаты с электромеханическим приводом / А. Я. Пономарев, А. А. Мясников // Вестник Кыргызско-Российского славянск. ун-та. — 2013. — Т. 13, № 1. — С. 84–87.

4. Лемешко, М. А. Метод адаптивного процесса резания горных пород / М. А. Лемешко, Р. Ю. Волков // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. — 2014. — № 5. — С. 46–50.

5. Катанов, Б. А. Режущие буровые коронки с упругими элементами / Б. А. Катанов, М. И. Протасов, А. Г. Пимаков // Горное оборудование. — 1977. — № 2. — С. 20–24.

6. Дойников, Ю. А. Разработка параметрического ряда буровых долот режущего и комбинированного типов / Ю. А. Дойников, А. Е. Беляев, Н. Н. Страбыкин // Горное оборудование и электромеханика. — 2010. — № 1. — С. 37–41.

7. Исаков, В. С. Обоснование адаптируемых параметров режущего бурового инструмента / В. С. Исаков, Нгуен Зуй Тхань, Н. П. Чухряев // Известия вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. — 2016. — № 1. — С. 76–79.

8. Потураев, В. Н. Резина в горном деле / В. Н. Потураев, В. И. Дырда, В. П. Надутый. — Москва : Недра, 1974. — 150 с.

9. Долото для вращательного бурения : патент 162328U1 Рос. Федерация : Н. П. Чухряев, В. С. Исаков, Нгуен Зуй Тхань. — № 2016101337/03 ; заявл. 18.01.16 ; опубл. 10.06.16, Бюл. № 16 — 3 с.

10. Буровое режущее долото : патент 2300621 Рос. Федерация : Н. П. Чухряев, В. С. Исаков [и др.]. — № 2005121113; заявл. 05.07.05; опубл. 10.09.07, Бюл. № 16. — 3 с.

11. Резина — конструкционный материал современного машиностроения / П. Ф Баденков и [др.]. — Москва : Химия, 1967. — 232 с.

References

1. Drovnikov, A.N., Lemeshko, M.A. Strukturnaya skhema dinamicheskoy modeli «adaptivnyy burovoy stanok — zaboy». [Structural diagram of dynamic model “adaptive drillrig – face”.] Mining Iinformational and Analytical Bulletin, 2003, no. 8, pp. 147–149 (in Russian).

2. Shigin, A.O. Proektirovanie adaptivnykh rabochikh organov burovykh stankov dlya slozhnostrukturnykh gornykh massivov. [Design of adaptive working elements of drillrigs for complex structural mountain groups.] Krasnoyarsk: SFU Publ. House, 2013, 155 p. (in Russian).

3. Ponomarev, A.Y., Myasnikov, A.A. Adaptivnye burovye agregaty s elektromekhanicheskim privodom. [Adaptive drill units with the electromechanical drive.] Vestnik KRSU, 2013, vol. 13, no. 1, pp. 84–87 (in Russian).

4. Lemeshko, M.A., Volkov, R.Y. Metod adaptivnogo protsessa rezaniya gornykh porod. [Method of adaptive process of cutting rocks.] Aktual'nye problemy gumanitarnykh i estestvennykh nauk, 2014, no. 9, pp. 46–50 (in Russian).

5. Katanov, B.A., Protasov, M.I., Pimakov, A.G. Rezhushchie burovye koronki s uprugimi elementami. [Cutting drill bits with elastic elements.] Gornoe oborudovanie, 1977, no. 2, pp. 20–24 (in Russian).

6. Doinikov, Yu.A., Belyaev, A.E., Strabikin, N.N. Razrabotka parametricheskogo ryada burovykh dolot rezhushchego i kombinirovannogo tipov. [Development of a parametric series of cutting and combined equipment.] Mining Equipment and Electromechanics, 2010, no. 1, pp. 37–41 (in Russian).

7. Isakov, V.S., Nguyen Duy Thanh, Chukhryaev, N.P. Obosnovanie adaptiruemykh parametrov rezhushchego burovogo instrumenta. [Justification of adaptable parameters of the cutting drilling tool.] University News. North-Caucasian region. Technical Sciences Series, 2016, no. 1, pp. 76–79 (in Russian).

8. Poturaev, V.N., Dyrda, V.I., Naduty, V.P. Rezina v gornom dele. [Rubber in mining.] Moscow: Nedra, 1974, 150 p. (in Russian).

9. Chukhryaev, N.P., Isakov, V.S., Nguyen Duy Thanh. Doloto dlya vrashchatel'nogo bureniya: patent 162328U1 Ros. Federatsiya. [A bit for rotary drilling.] Patent RF, no. 162328U1, 2016 (in Russian).

10. Chukhryaev, N.P., Isakov, V.S., et al. Burovoe rezhushchee doloto: patent 2300621 Ros. Federatsiya. [Drilling cutting bit.] Patent RF, no. 2300621, 2007 (in Russian).

11. Badenkov, P.F., et al. Rezina — konstruktsionnyy material sovremennogo mashinostroeniya. [Rubber – a structural material of modern engineering.] Moscow: Khimiya, 1967, 232 p. (in Russian).

Поступила в редакцию 14.03.2018
Сдана в редакцию 14.03.2018
Запланирована в номер 15.04.2018

Received 14.03.2018
Submitted 14.03.2018
Scheduled in the issue 15.04.2018

Об авторах:

Исаков Владимир Семенович,
профессор кафедры «Автомобили и транспортно-технологические комплексы» Южно-Российского государственного политехнического университета (НПИ) имени М.И. Платова (РФ, Ростовская область, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132),
доктор технических наук, профессор,
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1859-6589
kafedra_sdkm@mail.ru

Нгуен Зуй Тхань,
аспирант кафедры «Автомобили и транспортно-технологические комплексы» Южно-Российского государственного политехнического университета (НПИ) имени М.И. Платова (РФ, Ростовской области, г.Новочеркасск, ул.Просвещения, 132),
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7979-084X
nguyenduythanh2211@gmail.com

Authors:

Isakov, Vladimir S.,
professor of the Automobiles and Transport and technological Complexes Department, Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI) (RF, 346428, Rostov Region, Novocherkassk, ul. Prosveshcheniya, 132),
Dr.Sci. (Eng.), professor,
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1859-6589
kafedra_sdkm@mail.ru

Nguyen Duy Thanh,
postgraduate student of the Automobiles and Transport and technological Complexes Department, Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI) (RF, 346428, Rostov Region, Novocherkassk, ul. Prosveshcheniya, 132),
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7979-084X
nguyenduythanh2211@gmail.com